

PLANUNGSHILFSMITTEL FÜR LUFTERDREGISTER

Mark ZIMMERMANN, Stefan REMUND
Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
CH - 8600 DÜBENDORF

ZUSAMMENFASSUNG

Lufterdregister zur Vorkonditionierung der Frischluft erfreuen sich in der Schweiz grosser Beliebtheit. Vor allem die günstigen klimatischen Bedingungen ermöglichen es, Lufterdregister in vielen Fällen zur Kühlung der Frischluft im Sommer und zur Vorwärmung im Winter einzusetzen. Eine grössere Anzahl solcher Anlagen wurde in der Schweiz bereits realisiert. Allerdings fehlten bis heute geeignete Planungshilfsmittel zum Konzipieren und Dimensionieren von Lufterdregistern. Mit Unterstützung des Bundesamtes für Energiewirtschaft wurden verschiedene Planungshilfsmittel erarbeitet und im Rahmen des Projektes "Low Energy Cooling" der Internationalen Energieagentur zusammengetragen und verallgemeinert. Der vorliegende Beitrag zeigt, welche Rechenmodelle heute zur Verfügung stehen und wie Lufterdregister, basierend auf Erfahrungen und durchgeführten Simulationen, geplant werden sollten.

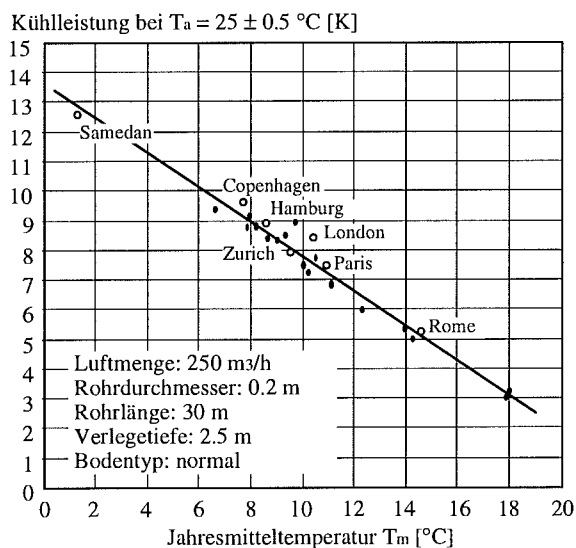
ABSTRACT

Ground Coupled Air Systems are quite popular in Switzerland for preconditioning fresh air. Ideal climatic conditions, in particular, often allow Ground Coupled Air Systems to be used for cooling fresh air in summer and preheating it in winter. A large number of such installations are already in operation in Switzerland. However, designing and planning tools are not yet available. With support of the Swiss Federal Office of Energy, various design methods have been developed and, within Annex 28 "Low Energy Cooling" of the International Energy Agency, they have been compiled and generalized. The purpose of this paper is to show which simulation tools are currently available and how, based on simulations and practical experience, Ground Coupled Air Systems should be designed.

1. EINLEITUNG

Lufterdregister dienen in erster Linie zur Vorkonditionierung der Aussenluft im Sommer. Die Aussenluft wird über ein unterirdisches Kanalsystem der Lüftungsanlage zugeführt. Das Erdreich dient dabei als Speichermasse, die sowohl saisonal wie auch im Tagesverlauf ausgleichend wirkt. Dem Kühleffekt im Sommer steht eine entsprechende Luftvorwärmung im Winter gegenüber. Der Hauptnutzen besteht allerdings im Sommer, da die Luftvorwärmung im Winter die Wirkung des Abluftwärmetauschers reduziert. Je wärmer die Aussenluft in den Wärmetauscher eintritt, umso wärmer verlässt die Fortluft den Wärmetauscher. Von grossem Vorteil ist jedoch die Frostfreiheit des Wärmetauschers, welche eine einfachere Betriebsweise ohne Abtauvorgänge ermöglicht.

Erdregister können sinnvollerweise nur in Klimata eingesetzt werden, welche grössere Temperaturdifferenzen zwischen Sommer und Winter sowie zwischen Tag und Nacht aufweisen. Figur 2 zeigt die Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von der mittleren Jahrestemperatur. Der interessanteste Bereich liegt im gemässigten Klima Mitteleuropas. Bei sehr warmen Standorten nimmt die Leistungsfähigkeit ab, währenddem bei kühlen Standorten in der Regel nur ein geringer Kühlbedarf vorhanden ist.



Figur 1: Abhängigkeit der Erdregisterleistung von der mittleren Jahrestemperatur am Gebäudestandort (Werte bei Aussentemperaturen um 25 °C, Dauerbetrieb)

2. RECHENMODELLE

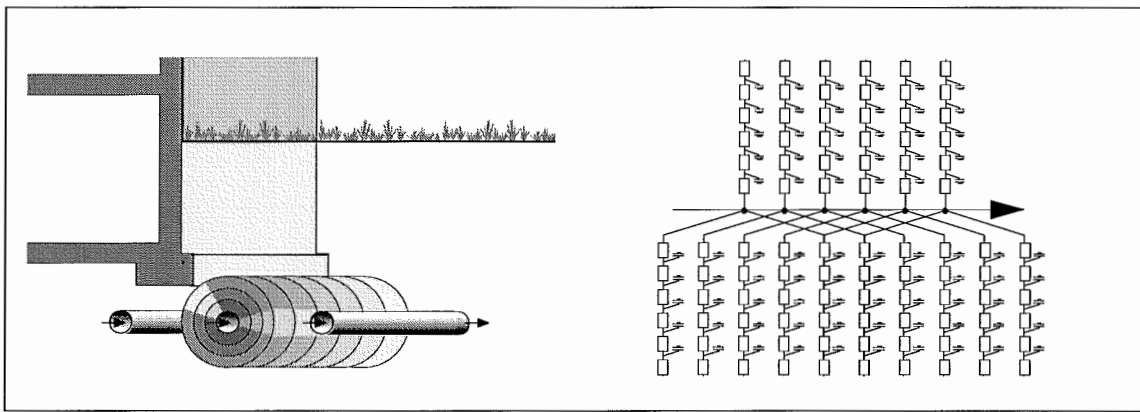
Die Simulation eines Erdregisters ist relativ komplex. Die meisten Modelle behelfen sich mit Vereinfachungen. Vielfach wird die Geometrie auf ein lineares System (ein Rohr im Erdreich) reduziert, vereinzelt wird das System nur quasi-dynamisch (periodische Vorgänge) berechnet. Am Laboratorium für Energiesysteme der ETH Zürich wurden verschiedene solcher Rechenmodelle im Rahmen einer Diplomarbeit [1] miteinander verglichen und validiert.

Gute Ergebnisse wurden mit dem Widerstands-Kapazitäten-Modell (WKM) von A. Huber erreicht. Das Modell wurde deshalb im Rahmen des IEA-Projektes "Low Energy Cooling" etwas weiterentwickelt [2] und diente schliesslich auch für die Parameterstudien, welche zur Ausarbeitung der Planungsrichtlinie [3] durchgeführt werden mussten.

2.1 Das Widerstands-Kapazitäten-Modell (WKM)

Das WKM-Modell betrachtet ein mit 50 cm Erdschicht ummanteltes Rohr, durch welches eine gegebene Menge Aussenluft strömt. Für die täglichen Lade- und Entladevorgänge wird nur diese 50 cm dicke Erdschicht berücksichtigt. Diese grenzt an Erdreich, für welches drei mögliche Zustände bestehen:

- Unbeeinflusstes Erdreich, dessen Temperatur aufgrund des Aussenklimas (Monatswerte) und der Verlegetiefe berechnet wird.
- Erdreich unter einem Gebäude. Die Grenzschichttemperatur wird aufgrund der Gebäudetemperatur (z.B. $T_{\text{Kellerboden}}$) und des vorhandenen Widerstandes berechnet.
- Erdreich zwischen zwei Erdregisterrohren. Für diesen Anteil gilt eine adiabatische Situation (kein Wärmefluss in diesen und aus diesem Bereich), nur die Speicherkapazität des Erdreichs wird eingesetzt.



Figur 2: Graphische Darstellung des Modells, welches eine Analogie zu einer elektrischen Schaltung mit Widerständen und Kapazitäten darstellt. Die Anteile des Erdreichs der drei unterschiedlichen Grenzbereiche (ungestört, gebäudenah und adiabatisch) müssen aufgrund der vorhandenen Situation geschätzt werden. Für jeden der Bereiche rechnet das Modell die Temperaturen für drei Schichten und die Rohrrinnenoberfläche. Der Länge nach wird das Rohr in sechs Stücke unterteilt, wobei die Austrittstemperatur des einen Teils die Eintrittstemperatur des nächsten Teils darstellt.

2.2 TRNSYS-Types

An verschiedenen Orten wird an der Entwicklung von TRNSYS-Types für Lufterdregister gearbeitet. Die für die Schweiz bedeutendsten Arbeiten wurden ebenfalls mit Unterstützung des Bundesamtes für Energiewirtschaft von der Universität Genf im Rahmen des Projektes GEOSER geleistet [4], [5].

Das Modell beschreibt sowohl den sensiblen wie auch den latenten Wärmeaustausch in luftdurchströmten, erdverlegten Röhren. Da das Modell auf einer finiten Differenz-Berechnung beruht, besitzt es eine grosse Flexibilität bezüglich Geometrie, physikalischer Charakteristiken der Umgebung und der Betriebsbedingungen. Die Einsatzmöglichkeit innerhalb der TRNSYS-Umgebung bietet die besten Voraussetzung für die Simulation von ganzen Gebäudesystemen. Momentan findet die Verknüpfung mit dem Gebäudemodell statt. Ende 1997 sollte das Modell als dokumentierter TRNSYS-Type vorliegen.

3. PLANUNGSRICHTLINIEN

Die nachfolgenden Ausführungen zeigen ausgewählte Ergebnisse des IEA-Projektes. Die Berechnungen wurden mit dem WKM_LTe-Programm durchgeführt. Ausführliche Angaben, insbesondere auch zur Konstruktion von Erdregistern, können [3] entnommen werden.

3.1 Systemwahl

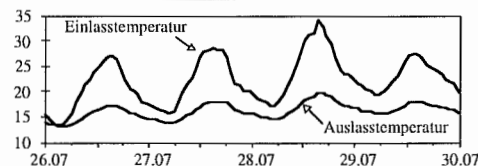
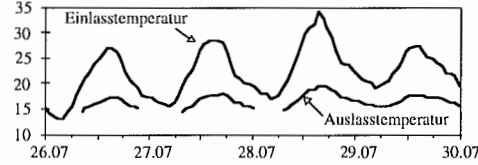
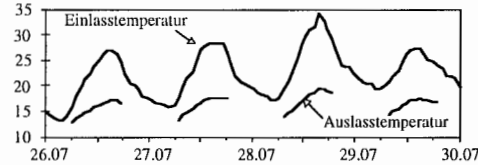
Grundsätzlich eignen sich Erdregister sowohl zur selbständigen Kühlung der Raumluft, wie auch als Ergänzung zusätzlicher Raumkühlsysteme. Interessante Kombinationsmöglichkeiten sind:

- Lufterdregister – natürliche Nachtluftkühlung
- Lufterdregister – mechanische Nachtkühlung
- Lufterdregister – Bauteilkühlung/Kühldecke

Weniger geeignet sind Kombinationen mit adiabatischen Systemen (Verdunstungskühlung). Natürlich sind auch Kombinationen mit Erdsonden oder mit Grundwassernutzung möglich. Falls die Möglichkeit besteht, wäre es jedoch in der Regel wirtschaftlicher, diese Systeme monovalent, d.h. ohne Erdregister, zu betreiben.

Für die Auslegung des Erdregisters können drei unterschiedliche Betriebsweisen unterschieden werden.

- **Komfortkühlung:** Das Erdregister wird nur zur Komfortverbesserung ohne definierte Kühlleistung eingesetzt (Dauerbetrieb)
- **Raumkühlung:** Das Erdregister dient zum Abführen interner Lasten über das Lüftungssystem (Betrieb bei hohen Aussentemperaturen)
- **Unterstützungskühlung:** Das Erdregister unterstützt ein vorhandenes Kühlsystem (Betrieb nach Anforderung des Kühlsystems)

Betriebsweise	Temperaturen	Leistungen
Komfortkühlung ungeregelt		Kühlung bei 25 °C 8.3 K Jahresertrag 1138 kWh Betriebsstunden 8760 h
Raumkühlung temperaturgeregelt Betrieb bei $T_a > 19\text{ °C}$		Kühlung bei 25 °C 8.6 K Jahresertrag 558 kWh Betriebsstunden 926 h
Hilfskühlung Regelung durch Hauptkühlsystem hier: 06.00-18.00 Uhr		Kühlung bei 25 °C 9.3 K Jahresertrag 873 kWh Betriebsstunden 4380 h

Figur 3: Übersicht über typische Einsatzgebiete für Erdregister (Zürich, 1 Rohr, 250 m³/h, Durchmesser 0.2 m, Länge 30 m, Verlegetiefe 2.5 m)

3.2 Systemdefinition

3.2.1 Lage

Eine möglichst tiefe Verlegung des Erdregisters ist anzustreben. Der für das Erdregister erforderliche Aushub bestimmt jedoch die Baukosten wesentlich, weshalb es in der Regel zu teuer ist, für das Erdregister grössere Aushubarbeiten auszuführen.

Der Rohrabstand sollte ca. 1.00 m betragen. Bei geringeren Abständen ist die gegenseitige Beeinflussung der Rohre zu gross. Grössere Abstände sind für die täglichen Entladungszyklen jedoch auch nicht optimal. Bei einer Anordnung unter einem Gebäude ist darauf zu achten, dass die Kellerräume kalt sind. Die Eigenschaften des Bodens verändern die Leistungsfähigkeit nicht grundlegend (vgl. Tabelle 1).

Bodentyp	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Kühl- effekt [%]
Feuchtes Erdreich	1.5	1400	1400	100
Trockener Sand	0.7	1500	920	90
Feuchter Sand	1.88	1500	1200	98
Lehm naturfeucht	1.45	1800	1340	104
Feuchter Lehm	2.9	1800	1590	105

Tabelle 1: Eigenschaften verschiedener Böden. Der Einfluss auf den Kühleffekt von ± 10 % ist verhältnismässig gering.

3.2.2 Grösse

Kleinere Anlagen, z.B. zur Komfortverbesserung im Wohnbau, können relativ günstig erstellt werden. Vor allem der Luftein- und -auslass sind sehr einfach zu gestalten. Grössere Anlagen und solche im Grundwasser sind schon wesentlich aufwendiger, da die Luftein- und -austritte praktisch nur über grössere Verteilschächte erfolgen können.

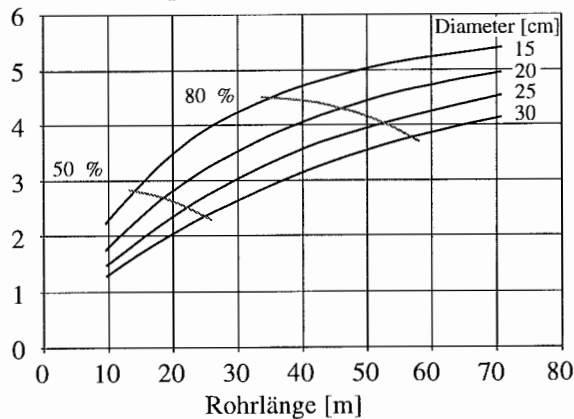
Die Grösse des Erdregisters ist anhand der erforderlichen Luftmenge zu dimensionieren, wobei auch hier aus Gründen des Druckverlustes Luftgeschwindigkeiten von ca. 2 m/s anzustreben sind. Bei den üblicherweise verwendeten Kunststoffrohren mit 20 cm Durchmesser sind dies etwa 250 m³/h und Rohr. Die optimale Rohrlänge richtet sich nach dem Rohrdurchmesser und der Luftgeschwindigkeit. Grosse Rohrdurchmesser sind nur bei sehr langen Rohren sinnvoll. Vor allem aber sind bei langen Rohren die Dilatationsbewegungen verstärkt zu berücksichtigen (siehe Konstruktionshinweise).

3.2.3 Systemauslegung

Die Betriebsweise richtet sich in erster Linie nach der Anwendungsart: kurze Betriebszeiten ergeben bessere Spitzenleistungen, lange Betriebszeiten mehr Ertrag (vgl. Fig. 3).

Sobald Lage, Anordnung und Betriebsweise bekannt sind, können Aussagen über die Leistungsfähigkeit des Erdregisters gemacht werden. Figuren 4 und 5 ermöglicht es, die Leistung einfacherer Fälle abzuschätzen. Für komplexere Fälle oder für genauere Abklärungen müssen Simulationen mit einem geeigneten Rechenprogramm durchgeführt werden.

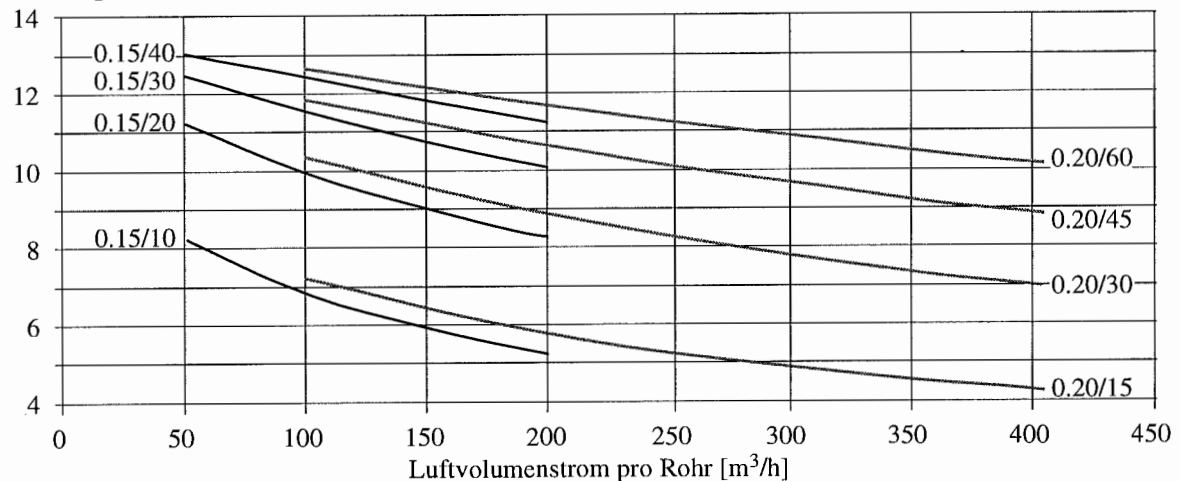
Kühlung bei $T_a > 19^\circ\text{C}$ [K]



Figur 4: Einfluss der Rohrlänge auf die Kühlleistung. 80 % der theoretisch möglichen Leistung sind in der Regel ideal für die Auslegung des Registers. Falls vor dem Rohrregister ein erdverlegter Sammelkanal angeordnet ist, sollte dessen Einfluss mitberücksichtigt werden.

Annahmen:
Klima: Zürich
Luftgeschwindigkeit: 2 m/s
Verlegetiefe: 2.5 m
Bodentyp: feuchtes Erdreich

Kühlung bei $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ [K]



Figur 5: Kühlung in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser 15 und 20 cm, Rohrlänge und Luftmenge für Zürich, Dauerbetrieb, Verlegetiefe 2.5 m (Innendurchmesser Rohr/Rohrlänge)

5. REFERENZEN

- [1] Remund St./Rütti R., Validierung von Luft-Erdregister-Modellen, ETH Zürich, Abt. IIIA, Juni 1996
- [2] Huber A./Remund St., Widerstands-Kapazitäten-Modell WKM_LTe, Program for the simulation of air-earth heat exchangers, IEA-BCS Annex 28 Low Energy Cooling, Subtask 2 Design Tools, 1997
- [3] Zimmermann M./Remund St., Simplified design tool for Ground Coupled Air Systems, IEA-BCS Annex 28 Low Energy Cooling, Subtask 2 Design Tools, 1997
- [4] Hollmüller P./Lachal B., Modèle pour tubes enterrés: Description et validation sur deux systèmes, 9. Schweiz. Status-Seminar, EMPA-KWH 1996, p. 91-96
- [5] P. Hollmüller/Lachal B., Modèle de simulation du stock souterrain, CUEPE, Université de Genève, 1995
- [6] Flückiger B., Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern, BEW/ATAL, Februar 1997

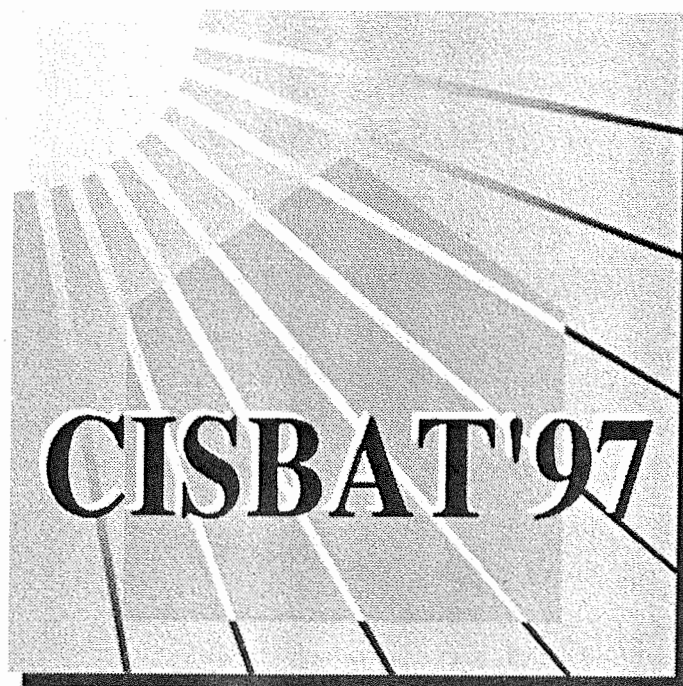


ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

KWH
EMPA

Koordination der
Wärmeforschung
im Hochbau
Tel.: 01/ 823 47 95
Fax: 01/ 821 62 44
8600 Dübendorf

Energie Solaire et Bâtiment Sonnenenergie und Bauwesen Solar Energy in Buildings



**Conférence Internationale Energie Solaire et Bâtiment
Lausanne, 1 - 2 octobre 1997**